

Versuche zur thermokinetischen Theorie der Muskelelastizität

von

HENDRIK DOBBELSTEIN

Aus dem Physiologischen Institut der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. R.Wagner)

VERSUCHE ZUR THERMOKINETISCHEN THEORIE

DER MUSKELELASTIZITÄT

Inaugural-Dissertation

Zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer hohen medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von
Hendrik Dobbelsstein
aus
München

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität
München

Berichterstatter : Prof. Dr. H. Reichel
Mitberichterstatter : Prof. Dr. R. Wagner
Dekan : Prof. Dr. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Juli 1958

Meiner Mutter



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555216_0113

Versuche zur thermokinetischen Theorie der Muskelelastizität.

Das thermoelastisch anormale Verhalten des Muskels beruht nach der thermokinetischen Theorie von Debye auf der Beweglichkeit der Micellen in der zur Faserachse senkrechten Richtung. Temperaturerhöhung führt zu einer Frequenz- und Amplitudenzunahme der Winkelbewegungen der kleinsten Teilchen und damit zu einer Verkürzung des Muskels. Entsprechend diesem Verhalten hat Abkühlung eine Verlängerung zur Folge. Daher ist die Entdehnungskurve, die bei 0°C aufgenommen wird gegenüber der Kurve bei Zimmertemperatur (16°C) nach größeren Längen verschoben. (Hill 1949) Dabei war jedoch die Rolle der plastischen Nachdehnung von den thermoelastischen Effekten nicht abzugrenzen. Die Kurven werden nämlich in derselben Richtung parallel verschoben, wenn mehrere Längenspannungsdiagramme hintereinander registriert werden (Reichel 1952) Eine Differenzierung der plastischen und elastischen Eigenschaften soll hier versucht werden. Aus der thermokinetischen Theorie der Kautschukelastizität ergibt sich jetzt die Frage, ob die thermoelastischen Eigenschaften des Muskels sich in Lösung verschiedener Konzentration ändern, da die Beweglichkeit der Micellen vom Wassergehalt der intracellulären Räume abhängig sein muß. Je geringer der Wassergehalt, desto weniger "Bewegungsfreiheit" haben die schwingenden Teilchen.

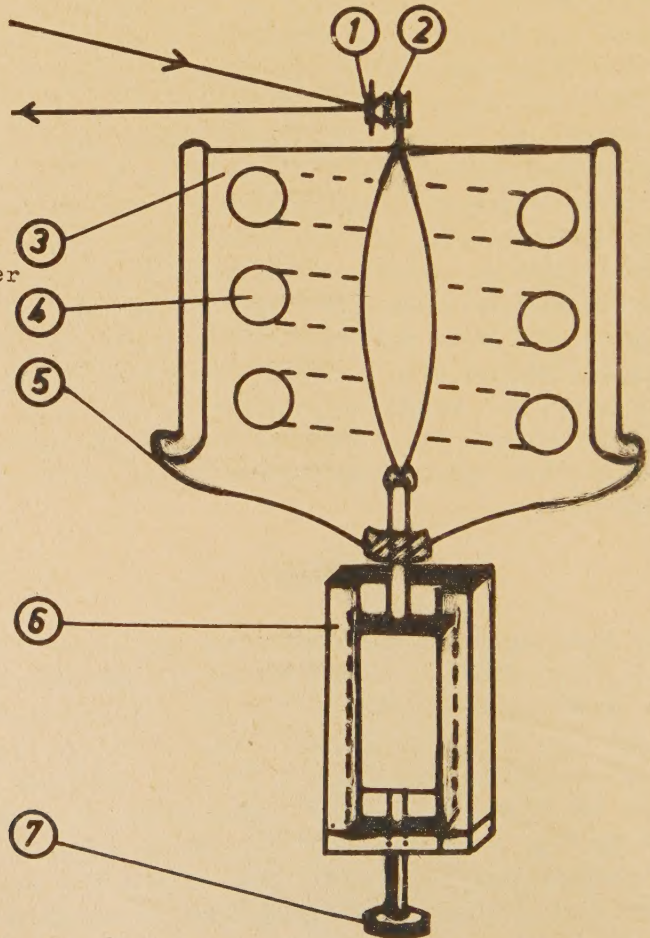
Methodik.

Die Spannung des in der Nährlösung suspendierten Muskels wird mit einem optischen Torsionsmyographen gemessen (Abb. 1). Die Empfindlichkeit beträgt 1 cm pro g Spannung. Die Länge wird durch eine Mikrometerschraube eingestellt. Als Versuchspräparat dient der m. semimembranaceus von *Rana esculenta*. Gang der Versuche: der Muskel wird zunächst bei 18°C über 3 Stunden kräftig vorgedehnt; auf diese Weise werden die plastischen Längenänderungen verringert. Nach Einstellung der gewünschten Temperatur wird die Entdehnungskurve in Stufen von 0,25 mm

aufgenommen; der Zeitabstand von Stufe zu Stufe beträgt 2 Minuten. Bei einer anderen Temperatur wird derselbe Versuch wiederholt. Die Versuchstemperaturen liegen bei 2°C und 20°C , ihre Reihenfolge wird von Versuch zu Versuch gewechselt (1. Versuchsreihe). In weiteren Versuchen (2. Versuchsreihe) wird nach einmaliger Aufnahme der normalen Entdehnungskurve bei 2 verschiedenen Temperaturen die Ringerlösung gegen eine hyper- oder hypotonische Lösung vertauscht und bei derselben Temperatur neu registriert.

Abb. 1: Versuchsanordnung; halb-schematische Skizze.

- 1 = Spiegel
- 2 = Blattfeder mit Hebelarm als Spannungsschreiber
- 3 = Glaszylinder mit Nährlösung
- 4 = Kühlschlange
- 5 = Kondomgummi
- 6 = Schwalbenschwanz
- 7 = Mikrometerschraube



Ergebnisse.

1. Wird der Muskel in normaler isotonischer Lösung bei verschiedenen Temperaturen entdehnt, so wird das Längenspannungsdiagramm bei der hohen Temperatur (20°C) gegenüber dem Diagramm bei niedriger Temperatur (2°C) stets nach geringeren Längen verschoben.

2. Wenn der Entdehnungsversuch erst bei der hohen Temperatur, dann bei der niedrigen Temperatur durchgeführt wird, ist die Differenz zwischen beiden Diagrammen größer als im umgekehrten Fall. Die Spannungsdifferenz gemessen von der Spannung 50 g auf der Kurve bei niedriger Temperatur lag bei fallender Temperatur zwischen 10 und 14 g, bei steigender Temperatur zwischen 1,5 und 2 g (siehe Tab. 1)

Versuchsnummer	Temperatur 1.Entdehnung	Temperatur 2.Entdehnung	Spannungs- differenz
14	0°C	17°C	1,5g
17	4°C	20°C	1,8g
18	2°C	20°C	2,0g
19	$2,5^{\circ}\text{C}$	18°C	2,0g
20	3°C	19°C	1,8g
Mittelwert	$2,3^{\circ}\text{C}$	19°C	1,8g
7	$18,5^{\circ}\text{C}$	2°C	14,0g
8	21°C	1°C	10,2g
9	21°C	1°C	10,0g
10	20°C	0°C	11,0g
11	21°C	1°C	12,0g
Mittelwert	21°C	1°C	11,2g

Tab.1:Spannungs-
differenzen ge-
messen bei der
Spannung 50g
auf der Entdeh-
nungskurve bei
niedriger Temp.

Tabelle 1

3. In hypertonischen Lösungen rücken die bei 2 verschiedenen Temperaturen aufgenommenen Kurven mit steigender Konzentration immer näher aneinander, wenn in jedem Versuch die Kurve erst bei der niederen dann bei der hohen Temperatur aufgenommen wird. Die Entdehnungskurven bei 2° - 3°C sind in allen Versuchen unabhängig von der Konzentration der Salzlösungen im mittleren und

und unteren Spannungsbereich zur Deckung zu bringen. Dagegen werden die Kurven bei Zimmertemperatur mit steigender Salzkonzentration mehr gegen die bei isotonischer Lösung aufgenommene Kurve nach größeren Längen und damit näher an die 2°C Kurve verschoben. In 3,3% NaCl-Nährlösung liegt schließlich die Kurve gegenüber der 2°C Kurve bei größeren Längen. Der Muskel ist folglich unter diesen Bedingungen normelastisch. Versuche mit schwach hypotonischen Lösungen haben keine meßbare Wirkung auf die Lage der Entdehnungskurve ergeben. Stark hypotone Lösungen führen zu Quellungen und Starreerscheinungen, von denen sich die eventuellen thermoelastischen Effekte nicht abgrenzen lassen. Daher wird auf eine Beschreibung dieser Versuche verzichtet.

5. Vertauscht man die isotonische Nährlösung gegen hypertonische Lösung, so sinkt die Spannung infolge Entquellung des Muskels ab, umgekehrt steigt die Spannung beim Übergang in hypotonische Lösung.

Diskussion

Die Verschiebung der Entdehnungskurve nach kleineren Längen bei Erwärmung des Muskels ist bereits von A.V.Hill festgestellt worden. Der mögliche Einfluß plastischer Längenänderungen auf die Lage der Kurve ist jedoch bei den genannten Untersuchungen nicht berücksichtigt worden. Unsere eigenen Befunde schließen die Möglichkeit aus, daß die Lageänderung der Kurve bei Änderung der Temperatur nur durch plastische Effekte vorgetäuscht wird, denn die Verschiebung der Kurve nach kleineren Längen bei Erwärmung ist auch dann deutlich, wenn der 2. Entdehnungszyklus nach Erwärmung stattfindet. Unter dem Einfluß plastischer Längenänderungen könnte aber die 2. Kurve nur nach größeren Längen wandern. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ist jedoch der Spannungsanstieg bei Erwärmung kleiner als der Spannungsabfall bei Abkühlung. Der thermoelastische Effekt bleibt also trotz ausgiebiger Vordehnung von plastischen Nachdehnungseffekten überlagert.

Wenn man die mittlere Spannungsdifferenz bei Abkühlung bzw. Erwärmung mit b bzw. c, die mittlere plastische Nachdehnung mit a und den wahren thermoelastischen Effekt mit x bezeichnet so gilt:

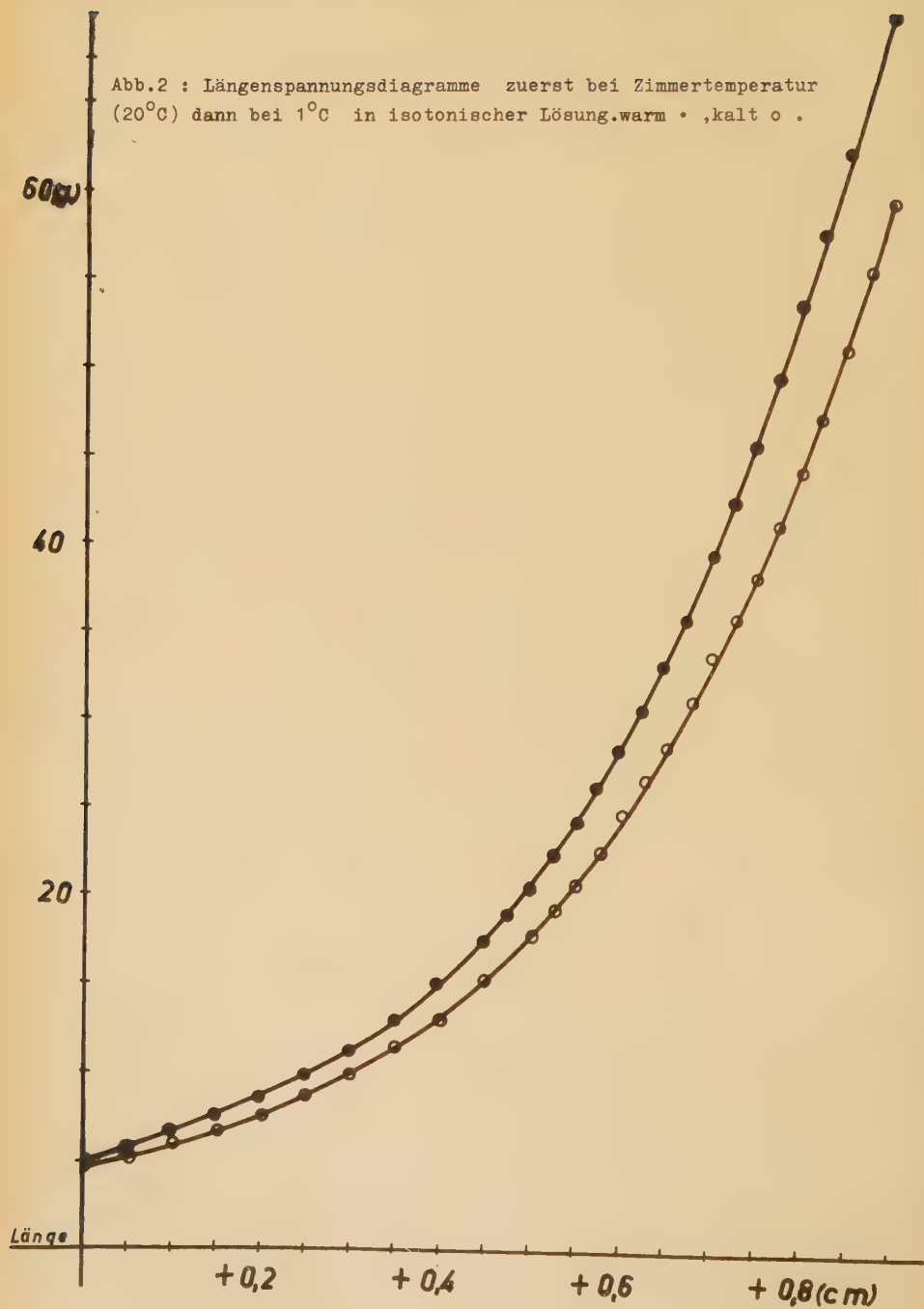
$$\begin{array}{llll} x + a = b. & \text{d.h.} & x + a = 11,2 \text{ g.} & \text{daraus ergibt } x = 6,5 \text{ g.} \\ x - a = c. & & x - a = 1,0 \text{ g.} & \text{sic} \quad a = 4,7 \text{ g.} \end{array}$$

Dieses Ergebnis stimmt gut überein mit der Angabe von K.H.Meyer und Picken, daß die Muskelspannung pro Grad Temperaturerhöhung um $\frac{2}{300}$ ihres Ausgangswertes zunimmt. Bei einer durchschnittlichen Temperaturdifferenz von 16°C ergibt sich hieraus eine Spannungszunahme von $x = \frac{2 \cdot 19 \cdot 50}{300} = 6,3 \text{ g.}$

Hypertone Lösungen schränken die Beweglichkeit der Micellen durch Wasserentzug ein. Damit wird der Anteil der potentiellen elastischen Komponente an der Gesamtelastizität größer. Bei stark hypertonischen Lösungen gewinnt schließlich die potentiell elastische Komponente das Übergewicht, sodaß sich der Muskel im ganzen Spannungsbereich normelastisch verhält.

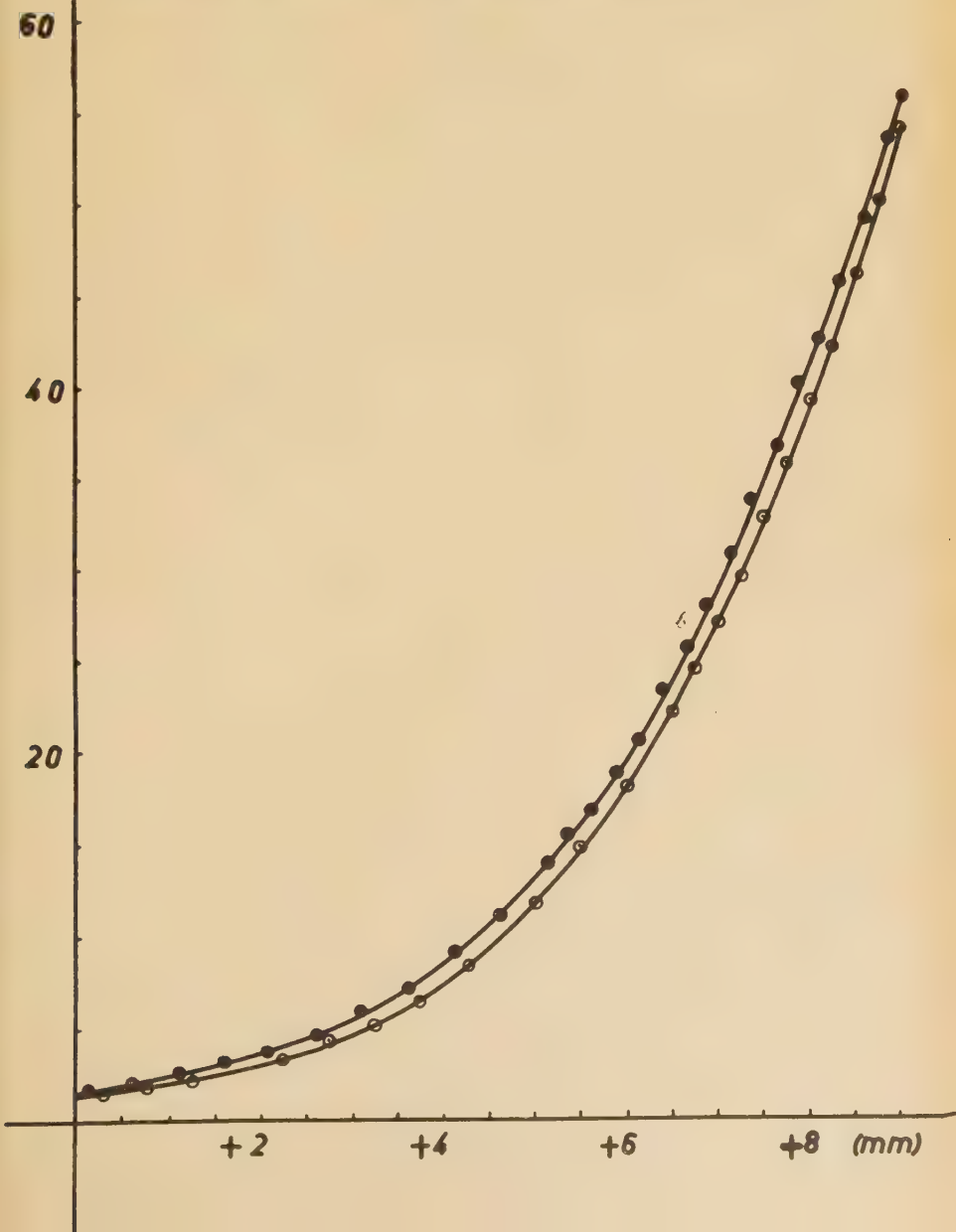
Die Befunde bestätigen die herrschende Lehrmeinung (Debye) daß das thermoelastisch anormale Verhalten des Muskels von der Beweglichkeit der Micellen abhängt.

Abb.2 : Längenspannungsdiagramme zuerst bei Zimmertemperatur (20°C) dann bei 1°C in isotonischer Lösung.warm • ,kalt o .



(g)

Abb. 3 : Längenspannungsdiagramm zuerst bei 1°C dann bei
Zimmertemperatur (20°C) in isotonischer Lösung. warm •, kalt o .



Literaturverzeichnis

- 1) Barkan, H., Broemser, Ph. und Hahn, A.: Z. Biol. 74, 1 (1922)
- 2) Buchthal und Knappeis : Elasticity, Viscosity and Plasticity in the cross-striated muscle fibre. Acta physiol.scand. Stockholm 8, 16 (1944)
- 3) Debye, P : Zustandsgleichung und Quantenhypothese. Physik.Z. 14, 259 (1913)
- 4) Feng, T.P.: The thermoelastic Properties of Muscle. J. of Physiol. 74, 441 (1932 b).
- 5) Frank, O.: Zur Thermodynamik des Muskels. Erg, Physiol. 32, 348 (1904)
- 6) Gasser und Hill, A.V.: Thermodynamics of Muscular Contractions Proc. Roy. Soc. Lond. B 96 398 (1924)
- 7) Hill, A.V.: Myothermic Experiments on the Frogs Gastrocnemius. Proc. Roy. Soc. Lond. 109, 267 (1932)
- 8) ders. : Thermodynamics of Muscle. Nature Lond. 167, 377 (1951)
- 9) ders. und Hartree, W. : The Thermoelastic Properties of Muscle 210, 153 (1920)
- 10) Josenhans, W.: Der thermokinetische und potentielle Anteil der Elastizität des Froschmuskels. Z. Biol. 103, 61 (1949 b)
- 11) Meyer, K.H. und Picken, R.: The Thermoelastic Properties of Muscle and their Molecular Interpretation. Proc. Roy. Soc. Lond. B 124, 29 (1937)
- 12) Renk, F. und Wöhlisch E.: Die thermoelastische Anomalie der Skelletmuskulatur und die statisch-kinetische Theorie der kautschukartigen Elastizität. Pflügers Arch. 243, 110 (1939)
- 13) Reicnel, H.: Kontraktilität und Elastizität des Herzmuskels als Modellvorstellung. Verh. dtsch. Ges. Kreislaufforschung 16, 13 (1950)
- 14) Weber, H.F.: Die Muskeleiweißkörper und der Feinbau des Skelletmuskels. Erg. Physiol. 36, 109 (1934)
- 15) Wöhlisch, E.: Die thermischen Eigenschaften der faserig strukturierten Gebilde des tierischen Bewegungsapparates. Erg. Physiol. 34, 406 (1932)

Herrn Professor H. Reichel

danke ich für die Überlassung des Themas, für seine wertvollen Ratschläge und sein großzügiges Entgegenkommen bei allen auftretenden Schwierigkeiten; ebenso danke ich ihm für die Übernahme des Referates.

Herrn Dr. Adolf Bleichert

danke ich für seine Hilfe bei der Aufstellung der Apparatur.

Lebenslauf.

Am 15.5.1935 wurde ich, Hendrik Otto Maria Dobbelsstein, als Sohn des Arztes Dr. med. et phil. Otto Dobbelsstein und seiner Ehefrau Dr. med. Maria Veronika geb. Perrot in Frankfurt a.M. als erstes von 3 Geschwistern geboren und katholisch getauft. 1941 trat ich in München in die Volksschule ein. 1942 starb mein Vater. Von 1944 bis 1950 besuchte ich das Münchner Theresiengymnasium. 1950 wechselte ich in das humanistische Gymnasium St. Ottilien über, wo ich 1952 das Reifezeugnis erhielt. Das Studium der Medizin begann ich im Herbst 1952 in München, im 2. Semester studierte ich in Heidelberg und kehrte dann nach München zurück. Nach dem 5. Semester bestand ich das Physikum. Die klinische Zeit führte mich im Sommer 1956 nach Freiburg, im Winter 56/57 nach Innsbruck. Von da an studierte ich wieder in München. Im Frühjahr 1958 bestand ich das Staatsexamen.

